This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

2 45 0174 2278
LANE MEDICAL LIBRARY STANFORD

RADIUM-TIEFENTHERAPIE

DAS PROBLEM DER MODERNEN RADIUMBEHANDLUNG DES KREBSES

ZUGLEICH EIN TABELLARIUM FÜR DIE RADIUMBESTRAHLUNG DES GEBÄRMUTTERKREBSES

VON

Dr. W. LAHM

MEDIZINALRAT UND VORSTAND DES LABORATORIUMS AN DER STAATLICHEN FRAUENKLINIK IN DRESDEN

MIT EINEM VORWORT VON

Dr. E. KEHRER

GEH. MEDIZINALRAT UND DIREKTOR DER STAATLICHEN FRAUENKLINIK IN DRESDEN

DRESDEN und LEIPZIG
VERLAG von THEODOR STEINKOPFF
1921

U859
L18
1921

LANE

MEDICAL LIBRARY

LEVI COOPER LANE FUND

RADIUM-TIEFENTHERAPIE

DAS PROBLEM DER MODERNEN RADIUMBEHANDLUNG DES KREBSES

ZUGLEICH EIN TABELLARIUM FÜR DIE RADIUMBESTRAHLUNG DES GEBÄRMUTTERKREBSES

VON

Dr. W. LAHM

MEDIZINALRAT UND VORSTAND DES LABORATORIUMS AN DER STAATLICHEN FRAUENKLINIK IN DRESDEN

MIT EINEM VORWORT VON

Dr. E. KEHRER

GEH. MEDIZINALRAT UND DIREKTOR DER STAATLICHEN FRAUENKLINIK IN DRESDEN

LANE LIBRARY

DRESDEN und LEIPZIG
VERLAG von THEODOR STEINKOPFF
1921

Alle Rechte vorbehalten

Copyright by Theodor Steinkopff,
Dresden und Leipzig

LANE LIBRARY

L 18
1921

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort von Geh. Medizinalrat Dr. E. Kehrer 5
Einleitung 7

I. Teil: Theoretische Grundlagen der Radiumtherapie.

1. Wie man den γ-Strahl des Radiums gewinnt (Atomtheorie — α-, β- und γ-Strahlen — Filterung) 10
2. Der γ-Strahl (Photoaktivität — Jonisation — Biologische Wirksamkeit) 11
3. Die biologische Wirkung des Radiums (γ-Strahls) 12
   A. Allgemeines zur biologischen Wirkung (Erythem — Warum und wieso die Haut „rot" wird — Latenzzeit — Elektive und selektive Wirkung — Empfindlichkeitsskala) 12
   B. Die Bestimmung der Reizgröße und der Ablauf der biologischen Reaktion (Einheit des Maßsystems bei der Messung von Energie und Kraft — Vorschlag zur Messung des Radiumkraftfeldes durch die „lokale Radium-Element-Konzentration" — Begriff der Reizgröße — Abhängigkeit der biologischen Erfolgskurse von der Reizgröße — Definition des Begriffes „Strahlendosis" — Reizsummation) 16
   C. Die Dosis und die Schwankungen der Sensibilität (Dosis als medizinischer Begriff, abhängig in der Wirkung vom Zustand des Erfolgsorgans — Radiosensibilität schwankend — Verabreichung der „Dosis" auf einmal oder in Pausen — Höhe der Carcinomdosis in Abhängigkeit von dem Reifegrad der Carcinome) 21
4. Die physikalischen Grundlagen der Strahlenwirkung . . . 24
   A. Die Sekundärstrahlung: a) Streustrahlung — b) sekundäre β-Strahlung — c) Die Eigenstrahlung 25
   B. Die Absorption (Abhängig von der Härte der Strahlung — Halbwertschicht — Prozentuale Abschwächung) . . . 27
   C. Das Quadratgesetz 29

96311

Die Prinzipien der Tiefenbestrahlung.

1. Verschiedene Radiosensibilität der Gewebe und qualitative und quantitative Homogenität des Strahlenfeldes — Distanzbestrahlung — Kreuzfeuer — Ausdehnung der Strahlenquelle in linearer Richtung (Radiumkapillare) — Kombination größerer und kleinerer Präparate 31
2. Das „Kraftfeld" des Radiums — Isodynamen — Maximum der erträglichen Einzeldosis 34

II. Teil: Praktischer Teil und Tabellarium.

Umgrenzung des Begriffs Tiefenwirkung und die Grenzen der Radiumdosierung — Rektumverbrennungen — Infektionsgefahr vom Cervicalkanal aus 37
Die Tiefenwirkung des Radiums 38
Die Grenzen der Bestrahlung 40
Aussicht auf Erfolg 41
Die Bestrahlung. 43

Tabellen über die wichtigsten Fragen der Bestrahlungstechnik:

Tabelle I: Gesamtwert der verabreichten Energie . . . 45
Tabelle II: Maximum der zu verabreichenden Energie . . 47
Tabelle III: Feldstärke der Isodynamen in Tafel I, II und III 49
Tabelle IV: Mittlere Tiefenwirkung in cm, abhängig von der Gesamtdosierung und der Radiosensibilität (gemessen vom äußeren Muttermund aus) 51

Schlußwort 51
Anweisung zum Gebrauch der Tafeln 52

Vorwort.

„Das Problem, das nicht nur die Gynäkologie, sondern die ganze Medizin im Innersten bewegt, ist die Strahlenbehandlung bösartiger Neubildungen. Nachdem man die ungeheure Bedeutung der radioaktiven Substanzen im Anschluß an die Entdeckung durch das Ehepaar Curie (1898) erkannt hatte, folgte 1905 die erste Veröffentlichung zweier geheilter Fälle von Collumcarcinom durch den Amerikaner Abbé. Es hat Jahre gedauert, für unsere schnelllebige Zeit eine merkwürdig lange „Latenzzeit", bis diese Mitteilung eine erkennbare Reaktion wissenschaftlicher Mitarbeit in Europa auslöste; sie scheint — bei der retrograden Betrachtung, die uns heute möglich ist — von Vorbedeutung für die Fortschritte auf dem Gebiete der Radiumstrahlentherapie gewesen zu sein. Zwar sind schon 1906—1909 bahnbrechend die Mitteilungen von Wickham, Lacapère, Dégrais und Dominici erschienen, denen solche von Bayet und Cheron-Duval bis zum Jahre 1913 folgten, in denen sich nicht nur das Bestreben widerspiegelt, das inoperable Uteruscarcinom durch ein märchenhaftes Mittel zu heilen, sondern vor allem auch die sog. Grenzfälle so zu beeinflussen, daß sie der anschließenden operativen Entfernung zugängig wurden. Zwar kamen im Jahre 1913, uns allen noch in lebendiger Erinnerung, die aufsehenerregenden Mitteilungen von Krönig, Kroemer, Bumm, Döderlein, Gauß und Haendly über „Bestrahlungserfolge der Mesothoriumbehandlung beim Uteruscarcinom" und die „Operationslose Behandlung des Krebses". Allein auf die Zeit, in der durch Mitarbeit aller im glücklichen Besitz von Mesothorium oder Radiumsalzen befind-

lichen Frauenkliniken das Problem Radium eine mächtige Förderung erfahren sollte, senkte sich der Schatten des Krieges. Seitdem ist die Weltliteratur über gynäkologische Radiumbestrahlung zwar nicht arm an Mitteilungen rein klinischer Art und Anlehnungsversuchen an die viel weiter vorgeschrittene Röntgenbestrahlung, allein wertvolle wissenschaftliche Untersuchungen haben doch erst wieder in den letzten Jahren eingesetzt. Und doch sollte es gerade die deutsche Gynäkologie als ihre vornehmste Aufgabe betrachten, das Problem Radium vom wissenschaftlichen Standpunkt aus zu fördern — nicht nur um zu versuchen ihr Praestigium Hallense zu bewahren, sondern auch um von dem Vorwurf frei zu bleiben, sie gebe einseitig aus irgend welchen Gründen der Röntgenbestrahlung den Vorzug.

So soll es unsere Aufgabe sein, in objektiver und kritischer Weise zu untersuchen, wie es nun eigentlich mit der Radiumbestrahlung bösartiger Neubildungen steht und ob die Erwartungen und Hoffnungen jener denkwürdigen Pfingsttage erfüllt und erfüllbar sind."

So schrieb ich vor ein paar Monaten als Einleitung zu dem von mir unter Mitarbeit von Lahm auf dem Gynäkologen-Kongreß in Berlin (Pfingsten 1920) erstatteten Referat über die „Radiumbestrahlung bösartiger Neubildungen". Seitdem ist mancherlei Neues hinzugekommen; der Grund aber, auf dem wir bauten, die mathematisch-physikalische Basis, ist geblieben. Es soll das vorliegende kleine Werkchen Lahms dazu dienen, den alten und neuen Gesichtspunkten, denen wir in Dresden gefolgt sind, Eingang in immer weitere Kreise zu verschaffen.

Dresden, Dezember 1920.

E. Kehrer.

Einleitung.

Das Radium ist vergleichbar einer Röntgenmaschine im Kleinen. So wie bei dieser die Erzeugung des Röntgen-Ätherstrahles Anfang und Ende und Sinn des ganzen oft mächtigen Instrumentariums darstellt, so ist auch der γ-Ätherstrahl des Radiums die Form der Energie, die uns allein für therapeutische Zwecke interessieren kann. Aber welch gewaltiger Unterschied in der Leistung zwischen Röntgenmaschine und Radiummolekül! Dort unter Zuführung großer Energien die Erzeugung relativ geringer, zeitlich begrenzter Röntgenströme — hier ohne jede äußere Hilfe ein fortgesetztes, ununterbrochenes Strahlen und Leuchten für Jahrtausende; dort ein Instrument von bedeutendem Umfang, das in unserer wohnungsarmen Zeit immer anspruchsvoller bezüglich des Raumes wird — hier ein kleines unscheinbares Röhrchen, das leicht und ungefährlich für die mit ihm Arbeitenden in einem kleinen sicheren Wandschrank unterzubringen ist, bis wir seiner bedürfen; dort als wichtiger Bestandteil die Röntgenröhre, die, mag sie noch so gut gebaut sein und noch so gut funktionieren, einem dauernden Verschleiß unterworfen ist — hier das Radiummolekül seine eigene Röhre, unabhängig von allen Lieferungsbedingungen und Lieferungsfristen, unberührt von Kohlennot und Streik, ununterbrochen seine Energie in den Weltraum sendend!

Kann es da Wunder nehmen, wenn alle die, welche Radium ihr Eigen nennen und nicht über einen der modernen, erst im Kriege in so großer Vollendung ausgebauten Röntgenapparate verfügen, trotz vielfacher bis-

heriger Mißerfolge dem Radium anhängen? Müssen nicht, wo doch sichere Heilung in so zahlreichen Fällen bereits erzielt wurde, alle Kräfte der Grenzgebiete, der Physik und der Mathematik, der pathologisch-anatomischen Zellforschung und der Chemie aufgerufen werden, um dem anspruchslosen Radium als Heilfaktor für den Krebs die gebührende Stellung zu verschaffen? Denn — das kann nicht oft genug betont werden — das Radium vermag zu heilen, es zerstört die Krebszelle in anderer Weise wie das Glüheisen oder die Ätzpaste; darüber zu diskutieren, hieße Eulen nach Athen tragen. Aber die Technik der Bestrahlung und dann vor allem die Grenzen, die der Bestrahlungstherapie gezogen sind, das sind zwei Dinge, die bei dem jüngsten Zweig unserer Krebsbehandlung noch besserungsbedürftig sind. Im Röntgenbetriebe weiß jeder: Cave cutem — schone die Haut! Aber eine entsprechende Warnung fehlt bisher noch dem Radiologen. Seit die Röntgenprozesse wegen Hautverbrennungen Publikum und Ärzte aufgerüttelt haben, seitdem ist das Röntgenulcus der Haut aus dem Register der möglichen Kunstfehler gestrichen. Ein Fall, der ohne tiefgreifende Schädigung der Haut nicht mehr zu behandeln ist, der bleibt unbehandelt, der ist im Sinne der Strahlentherapie als „inoperabel" zu bezeichnen und dementsprechend zu bewerten. Wehe denen, die diesen Begriff der Inoperabilität in der Strahlenbehandlung noch nicht kennen, wehe den Patientinnen und wehe auch den Ärzten! Mag das Publikum auch heute in Anbetracht der Schwere der Erkrankung, die es gerade bei Anwendung von Radium bei der Krebskrankheit zu heilen gibt, noch in gewissem Sinne tolerant sein gegen die Schäden, die sich auch bei der Radiumbestrahlung meist vermeiden lassen — morgen kann das anders sein. Und hier mit Hilfe genauer

Zahlenwerte zu zeigen, wie man Radiumschädigungen aller Art, vor allem aber solche der Überdosierung mit Sicherheit vermeiden kann, wie man auf mathematisch-physikalischer Basis Anhaltspunkte gewinnt für die Gesamtdauer der Bestrahlung (Maximaldosis), für die Dauer der Einzelsitzung, für die Auswahl der zu bestrahlenden Fälle, kurz: für den biologischen Erfolg überhaupt, das ist in erster Linie der Zweck dieser kleinen Schrift, die, auf dem Boden strenger Wissenschaftlichkeit stehend, frei von den Fesseln einer systematischen Darstellung die Gedankengänge schildern soll, welche zur praktischen Verwendung langgestreckter Radiumpräparate, der „Radiumkapillare" nach Kehrer-Lahm geführt haben.[1]) Zugleich dient sie als Gebrauchsanweisung für das von uns vorgeschlagene Radium-Instrumentarium in der Gynäkologie und zur Aufklärung über gewisse Grundbegriffe der Radiumbehandlung des Krebses überhaupt. Es ist das Thema daher in zwei Teile getrennt, in einen theoretischen und in einen praktischen. Den ersten zu entbehren geht nicht an, weil es zum Verständnis des angeschlossenen Tabellariums einer Reihe von Ausführungen bedarf, die sich auf die biologische Strahlenwirkung und auf die physikalisch-mathematischen Gesetze, denen auch der γ-Strahl des Radiums unterworfen ist, beziehen. Man bezeichnet sie gewöhnlich als die biologischen und physikalischen Grundlagen der Strahlentherapie, ihrem Wesen nach aber sind sie nichts anderes als der Kompromiß zwischen Gesetz und Erfahrung.

[1]) Die „Radiumkapillare" ist der Radiogen-Gesellschaft Berlin übergeben worden und wird demnächst als Spezialinstrumentarium zur Verwendung in der Gynäkologie erscheinen.

I. Teil: Theoretische Grundlagen der Radiumtherapie.

1. Wie man den γ-Strahl des Radiums gewinnt.

Es ist in der Einleitung gesagt worden, daß das Radium eine Röntgenmaschine im Kleinen ist. Dieser Ausspruch läßt sich nur auf dem Boden der modernen Atomlehre verstehen. Darnach baut sich der kleinste Teil der Materie, das Molekül, aus einem Zentralteil, dem mit positiver Elektrizität geladenen α-Teilchen, und mehreren Ringen von peripher gelagerten Körperchen, den β-Teilchen, auf. Die letzteren, auch als Elektronen, d. i. negative Elektrizität, bezeichnet, befinden sich in dauernder kreisender Bewegung um den Zentralteil, so daß man in dem Molekül gewissermaßen ein Sonnensystem mit zahlreichen Planeten im Kleinen vor sich hat. Wenn die α-Teilchen den chemischen Charakter des Stoffes bestimmen, so sind die β-Teilchen in erster Linie die Träger energetischer Spannungen. Setzt z. B. in einem Molekül, durch äußere oder innere Ursachen veranlaßt, ein Zerfall ein, so fliegen die negativen β-Teilchen mit großer Wucht auf den positiven α-Teil auf, werden dort, weil derselbe etwa 2000 mal größer ist als sie selbst, genau wie die negativen Kathodenstrahlen der Röntgenröhre auf der Antikathode, energisch gebremst und erzeugen durch elastischen Stoß eine Erschütterung des alle Körper durchdringenden Weltäthers. Diese Erschütterungen sind periodisch, tragen also den Charakter von Wellen und sind in ihrer Gesamtheit das, was wir als γ-Strahlen des Radiums bezeichnen. Aus einem Radiummolekül treten aber, weil das Molekül des Radiums zer-

fällt, außer diesen Ätherstrahlen auch β-Teilchen und α-Teilchen aus, so daß man, wie wohl allgemein bekannt ist, drei Strahlenarten des Radiums unterscheidet: die γ-Ätherstrahlen und die korpuskulären α- und β-Strahlen. Für therapeutische Zwecke kommt aber nur der γ-Strahl in Frage, die beiden anderen Strahlengattungen sind uns unerwünscht. Man kann sie auf einfache Weise aus dem Strahlenbündel wegbringen, indem man das Radium in ein Messingröhrchen von 0,8 bis 1 mm Wandstärke einschließt. Dadurch wird das Strahlengemisch, wie man zu sagen pflegt, gefiltert, und es tritt nur der reine γ-Strahl außerhalb des Messingträgers auf. Mit ihm uns zu beschäftigen, sei unsere erste Aufgabe.

2. *Der γ-Strahl*

ist, wie wir gehört haben, ein Ätherstrahl; er enthält nichts Körperliches, ist reine Energieform. Wollte man Vergleiche anstellen, so dürfte man ihn nicht mit einem Wasserfall vergleichen, der infolge der direkten mechanischen Berührung mit den Brettern eines Mühlenrades die Mühle zu treiben vermag, sondern mit der strahlenden Wärme eines Glühkörpers, die auch durch eine Glasscheibe hindurch bemerkbar bleibt, oder mit den elektrischen Wellen, wie sie aus den Antennen der Telefunkenapparate unbehindert durch alle „Wände" ausgesendet werden. Wir wollen uns zunächst mit der eigenartigen Energieform des γ-Strahls etwas näher vertraut machen und ihre Eigenschaften kennen lernen, ohne das Gesetzmäßige allzusehr zu betonen.

Der γ-Strahl wirkt auf die photographische Platte (Film, Kienböck-Streifen) in der gleichen Weise wie das Licht; er ist, wie man zu sagen pflegt, photoaktiv. Ist dies auch eine der ältesten Erfahrungen, die man mit dem γ-Strahl

gemacht hatte und mag sie auch lange dazu gedient haben, das Radium nachzuweisen bezw. die Größe seiner Wirkung messend abzuschätzen, so weiß man heute, daß ein solches Verfahren der Strahlenmessung zwar immer noch seine Berechtigung hat, wenn man zwei Radiumpräparate miteinander vergleichen will, daß es aber versagt, wenn man aus dem Grad der Schwärzung der photographischen Platte oder des Films (Kienböck-Streifen) rückschließen will auf die Intensitäten verschiedener Strahlenquellen, weil die Stärke des Silberniederschlags auf der Platte noch von anderen Faktoren als der Intensität allein abhängig ist.

Von den weiteren Eigenschaften der γ-Strahlen sei nur erwähnt die Zersetzung von Salzlösungen (Elektrolyse), die Veränderung von Farben (Sabouraud-Noiré-Tablette), das Leuchtendmachen fluoreszierender Körper (Baryumplatincyanür), die Bildung von Wärme und die Fähigkeit, die Luft für den elektrischen Strom leitend zu machen (Jonisation). Gerade die letztere Eigenschaft wird neuerdings dazu benutzt, die Intensität des Radiumstrahles zu messen, weil der Grad der Leitfähigkeit der Luft in weiten Grenzen nur abhängig ist von der Intensität des jonisierenden Strahles. Was von allen Eigenschaften des γ-Strahles aber am meisten interessiert, ist die biologische Wirksamkeit, die schließlich zu jenen beachtenswerten Resultaten in der Krebsbehandlung geführt hat, von denen wir nun schon seit Jahren wissen, daß sie mehr sind als Augenblickserfolge.

3. *Die biologische Wirkung des Radiums (γ-Strahls.)*

A. Allgemeines zur biologischen Wirkung.

Die Stärke der biologischen Wirkung des gefilterten und nicht gefilterten Radiumpräparats mußten die ersten

Besitzer teilweise am eigenen Leibe erfahren: es stellten sich ekzemartige Hautveränderungen an den Fingerspitzen ein, mit welchen das Radium häufig demonstriert wurde, oder es traten gar Geschwüre in Erscheinung, die jeder Behandlung trotzten, und in einem wohl allgemein bekannten Falle hat sich an der Stelle, wo das Radium tagtäglich in einem Bleigehäuse in der Tasche getragen wurde, ein Ulcus gebildet, das schließlich die ganze Bauchwand in Mitleidenschaft zog und zum Tod des Trägers führte. — Die bekannteste Form der biologischen Wirkung des Radiums ist ohne Zweifel das Hauterythem, d. h. jene düsterrote Verfärbung der Haut an der Stelle, wo längere Zeit ein Radiumröhrchen aufgelegen hat. Man kann je nach der Stärke des Reizes mehrere Grade dieses Hauterythems unterscheiden insofern als dem Stadium der Rötung (I^0) bei stärkerer Bestrahlung sehr bald ein Stadium der Blasenbildung, des Nässens und der Abschuppung (II^0) zu folgen pflegt; bei den schwersten Formen der Verbrennung tritt Geschwürsbildung der Haut und des Unterhautzellgewebes von schleichendem Charakter auf (III^0).

Es ist interessant, an diesem Beispiel der Hautreaktion zu verfolgen, in welcher Weise das Radium biologisch wirkt. Zunächst werden nur die Gefäße im Sinne einer leichten Entzündung gereizt, d. h. es wird die Gefäßwand für die Bestandteile des Blutes durchlässig, so daß Flüssigkeit und vereinzelt Leukozyten in die Umgebung der Gefäße austreten. Dabei werden auch die feinsten Enden der Gefäßnerven in Mitleidenschaft gezogen, so daß eine Erweiterung der Capillaren erfolgt. Dieser ganze Prozeß hält sich bei nicht allzu starkem Reiz innerhalb mäßiger Grenzen, so daß davon bei der Besichtigung mit bloßem

Auge nichts bemerkt wird. Erst in dem Augenblick, wo auch das über dem Unterhautzellgewebe gelegene Epithel degeneriert, bildet sich die Hautrötung als sichtbare Erscheinung der Strahlenwirkung aus. Es findet dieser merkwürdige Vorgang darin seine Erklärung, daß die Epithelzellen erst nach einer längeren Latenzzeit in einen eigenartigen Quellungszustand gelangen, durch welchen sie durchsichtiger werden und nun den entzündlichen Prozeß, der sich schon seit längerer Zeit im Unterhautzellgewebe abspielte, der Beobachtung von außen zugänglich machen. Es wechselt die Latenzzeit der Wirkung, die sich streng genommen also nur auf das Epithel, nicht auf das Gefäßbindegewebssystem der Haut bezieht, mit der angewandten Reizgröße (Intensität der Bestrahlung) und auch mit der Härte der Strahlung.

Zweierlei interessante Rückschlüsse kann man aus dieser Feststellung über das Hauterythem ziehen; erstens, daß der biologische Erfolg an verschiedenen Zellsubstraten nicht zu gleicher Zeit eintritt, und zweitens, daß der biologische Erfolg abhängig ist von der Strahlenempfindlichkeit des betroffenen Zellsubstrates. So wurde in unserem Falle der Gefäßbindegewebsapparat nur gereizt, indessen die Zellen des Epithels bereits eine degenerative Phase, eine Art Quellungsnekrose, durchmachten. Dabei ist es zunächst nicht nötig, daß die Zellen absterben, — erst bei stärkerer Bestrahlung tritt mit Blasenbildung und Abschuppung Zelltod ein — sie können sich vielmehr wieder erholen und völlig gesund werden. Aber der Unterschied der Strahlenempfindlichkeit zwischen Bindegewebe und Epithel bleibt natürlich bestehen und ist in ähnlicher Weise bei allen Organen und Geweben des menschlichen Körpers leicht zu beobachten, indem man bei ein und derselben Dosierung bald

Reizwirkung auf der einen, bald Degenerativwirkung und Zelltod auf der anderen Seite feststellen kann. Der γ-Strahl wirkt also niemals elektiv, wie man ursprünglich angenommen hatte, sondern je nach der Radiosensibilität und der Stärke des Reizes successiv, oder, wie man vielleicht auch sagen darf, selektiv (auswählend). Wir werden später noch sehen, welche ungeheure Bedeutung diesem wechselnden Verhalten der Gewebe für den Aufbau und den Erfolg der Radiumtherapie zukommt, wollen an dieser Stelle aber nur eine Übersicht über die Radiosensibilität der hauptsächlichsten und therapeutisch wichtigsten Gewebe des menschlichen Körpers geben. Wenn dabei die „Haut" in der Mitte der in Form einer Empfindlichkeitsskala geordneten Tabelle steht, so muß man dabei bedenken, daß diese Einordnung nach der degenerativen Schädigung des Epithels vorgenommen wurde, wobei sich diese klinisch kenntlich macht durch die schon früher aufgetretene Reizwirkung am Gefäßbindegewebsapparat.

Empfindlichkeitsskala.

Keimzellen	30 % d. Haut-Erythem-Dosis	250 $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$
Zellen des Blutes	—	—
Sarkome	60 % d. Haut-Erythem-Dosis	500
Carcinome	30—100 % „	250—750
Haut	100 = Haut-Erythem-Dosis	750
Carcinome	100 — 500 % d. H.-E.-D.	750—3500
Darmschleimhaut, Blasenschleimhaut	190 % d. H.-E.-D.	1440
Bindegewebe	300 % d. H.-E.-D.	über 2000
Muskulatur und Nerven	—	—
Periost	—	—

B. Die Bestimmung der Reizgröße und der Ablauf der biologischen Reaktion.

Wir haben oben wiederholt von „Reizgröße" gesprochen, ohne näher definiert zu haben, was wir darunter verstehen. Wenn wir beim Messen oder Wiegen einem anderen Zahlen angeben wollen, aus denen er für seine eigenen Zwecke Nutzen ziehen kann, so müssen wir beide ein und dasselbe Maßsystem besitzen. So kann man bekanntlich die Länge im metrischen System oder im Zollsystem oder nach Fuß angeben, Gewichte stellen wir nach Kilogramm oder nach Pfunden oder Unzen usw. fest; jedesmal wird die absolute Zahl, die wir nennen, eine andere sein. Nicht anders liegen die Verhältnisse bei der Energiebestimmung. Auch hier bedarf es einer Übereinkunft, welchen Systems wir uns bedienen wollen. Will man z. B. zwei Lichtquellen miteinander vergleichen, so muß man eine Einheit festsetzen, auf welche die ausgestrahlte Helligkeit bezogen wird. Beim Licht mißt man bekanntlich nach Hefnerkerzen (H. K.) und bezeichnet damit jene Helligkeit, welche von einer Kerzenflamme von bestimmter Größe (Höhe) auf einem Schirm in 1 m Entfernung erzeugt wird; es ist das die sog. „Meterkerze", ein Ausdruck, den man auch in Form eines Bruches schreiben kann, dessen Zähler die „Einheitsflamme" (H. K.), dessen Nenner die angegebene Entfernung des Schirmes von der Flamme ist, also

$$\text{Einheit der Helligkeit} = \frac{1 \text{ H. K.}}{\text{m}}.$$

Nicht anders wird auch die Kraft gemessen, mit der ein Pferd den Wagen zieht; Einheit der Kraft ist das Kilogramm-Meter $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}}\right)$, d. h. diejenige „Gewalt", die ein Kilogramm auszuüben vermag, wenn es einen Meter

hoch herunterfällt. In ganz derselben Weise bestimmen wir die Intensität eines Radiumstrahles aus der Strahlenintensität von 1 mg Ra.-El. (mge) und der Entfernung, aus der sie wirkt. Da die Intensität von 1 mg Radium-Element sehr klein ist, wählt man natürlich die Entfernung, in der sie wirksam werden soll, nicht zu groß, z. B. 1 cm oder 1 mm, muß aber dann unter allen Umständen an dem einmal angenommenen Maß festhalten. Es ist also 1 Milligramm-Element-Centimeter ($\frac{\text{mge}}{\text{cm}}$) diejenige Intensität (Impulsstärke, „Helligkeit"), welche von 1 mg Ra.-El. in 1 cm Entfernung erzeugt wird. Wir nennen sie auch die lokale Radium-Element-Konzentration und würden sagen: 1 mg Ra.-El. in 1 cm Entfernung liefert die Einheit der Ra.-El.-Konzentration. Da die biologischen Wirkungen aber stets von der Dauer der Einwirkung abhängig sind und bei gleichbleibender lokaler Radium-Element-Konzentration proportional der Bestrahlungszeit sich verstärken, so wird die Reizgröße als Produkt aus der lokalen Radium-Element-Konzentration und der Zeit definiert.

Reizgröße = Lokale Rad.-El.-Konzentration mal Zeit.

Die Reizgröße ist also Stunden-Impulsstärke und wird nach Stunden-Milligramm-Centimeter gemessen ($\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$). Diese Einheit, die wir hier als Reizgröße festgestellt haben, wünschen wir ganz allgemein eingeführt, damit zunächst einmal ein gegenseitiges Verstehen der Radiologen ermöglicht wird. Wenn man unseren Ausführungen genau gefolgt ist, wird man sich kaum an der zunächst langatmigen Form

noch stoßen. Wir verwenden die neugewonnene Einheit in erster Linie dazu, um in ihr die Strahlenempfindlichkeiten der Organe und Gewebe anzugeben. So haben wir z. B. festgestellt, daß wir rund 750 $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$ brauchen, um eine Hautreaktion I^0 (blaurote Verfärbung ohne Blasenbildung, später leichte Schuppung und Bräunung) hervorzurufen. So wissen wir ferner, daß das Carcinom einer Reizgröße von 250 bis 500 und mehr $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$ bedarf, um zu verschwinden. Und alle die Zahlen, welche in der oben angegebenen Sensibilitätsskala aufgeführt sind, enthalten in der zweiten und dritten Rubrik prozentual zur Hautdosis (100) und absolut gemessen nach Stunden-Milligramm-Zentimeter bereits die Werte, die wir auf Grund biologischer Experimente (Eichung) und pathologisch-anatomischer Untersuchungen mit Hilfe der lokalen Radium-Element-Konzentration und der Bestrahlungsdauer berechnet haben (s. S. 15).

Von ungemeiner Wichtigkeit für unser therapeutisches Vorgehen ist aber nicht allein das Maximum des zu erzielenden Erfolges, sondern der Gesamtverlauf einer Radiumstrahlenwirkung. Wir haben bei dem Beispiel des Hauterythems bereits gehört, daß zunächst eine Latenzzeit zu beobachten war, während welcher keinerlei sichtbare Veränderungen an der Haut auftraten, daß dann das Erythem sich ausbildete und schließlich die Rückkehr zum normalen Zustande erfolgte. Wir fanden also, daß der gesamte Ablauf der Strahlenwirkung ein kurvenähnlicher ist, bei dem wir einen aufsteigenden Schenkel, einen Höhepunkt und einen absteigenden Schenkel unterscheiden können. Dabei ist es aber nicht ganz gleichgültig, in welcher Zeit wir eine und dieselbe Reizgröße verabreichen; für den gleichen *biologischen* Erfolg ist also nicht nur der Absolutwert der

Reizgröße, sondern auch die lokale Radium-Element-Konzentration maßgebend. So verläuft die Kurve nicht in derselben Weise, wenn man insgesamt 100 $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$ bei einer lokalen Radium-Element-Konzentration von 20 $\frac{\text{mge}}{\text{cm}}$ in 5 Stunden oder bei einer lokalen Radium-Element-Konzentration von 100 $\frac{\text{mge}}{\text{cm}}$ in 1 Stunde verabreicht. Die Unterschiede im Erfolg sollen die folgenden Kurven A und B der Abb. 1 zwar schematisch, aber dafür um so anschaulicher darstellen.

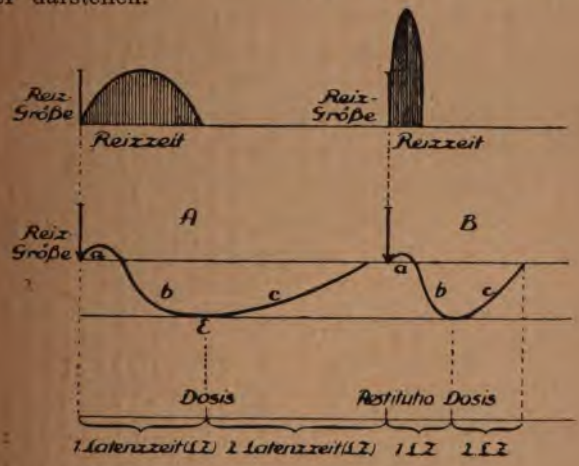

Abb. 1.

Aus diesen beiden Kurven lesen wir ab, daß auf eine kurze erregende (assimilatorische) Phase a (nach oben) die degenerative (dissimilatorische) Hauptphase b (nach unten), mit dem Höhepunkt (E), „der Dosis", und dem Abklingen der Reaktion (c) und der Rückkehr zum Normalen (Restitutio) folgt. Was die erregende Phase betrifft, so entspricht sie einem ganz allgemein beobachteten Gesetz, daß schwache Reize erregend,

starke Reize lähmend wirken. Und da jedes Radiumpräpar auch bei höchster Impulsstärke aber kurzer Bestrahlung zeit zunächst nur eine sehr kleine Reizgröße liefert, s muß jeder degenerativen Phase der Radiumwirkung die e regende vorangehen; die degenerative Phase, zusamme mit dem kurzen Reizstadium auch als erste Latenzze bezeichnet (siehe Abbildung), senkt sich natürlich je na der Reizgröße verschieden tief hinab. Sie kann unter U ständen bis zum Zelltod führen und ist für uns Beispiel gerade so groß, daß ein Hauterythe erzeugt wird. Der Höhepunkt (E) der Kurve ste deshalb stets ein klinisch bedeutsames Ereignis dar, i sofern z. B. als das Erythem der Haut auftritt, oder d Ovarialfunktion erlischt, oder das Carcinom zurückge Man bezeichnet infolgedessen den Höhepunkt E auch a die „Strahlendosis" und versteht darunter das Max mum eines Strahlenerfolges, verbunden mit de Erlöschen der Zellfunktion oder der Umkehr nach de normalen Zustande. Man darf dementsprechend Reize v bestimmter Größe, welche zur Vernichtung der Orga zellen führen, als Hautdosis, als Ovarialdosi und als Carcinomdosis bezeichnen, wobei wir u allerdings bewußt bleiben müssen, daß bei der Haut i sofern eine Ausnahme besteht, als bei der Verabreichu der Hautdosis die Zellen des Epithels noch nicht absterbe sondern nur in einem gewissen Umfange degenerative Pr zesse (Quellungsnekrose) durchmachen.

Dem Abklingen des biologischen Erfolge der zweiten Latenzzeit, kommt eine beson dere Bedeutung zu, wenn eine zweite Be strahlung der ersten folgen soll. Wie man au den beiden Kurven A und B leicht erkennt, folgt nämlic auf den raschen Anstieg bei kurzdauernder Ei

wirkung hoher lokaler Konzentrationen (B) rascher Abfall, auf den langsamen (A), langsamer Abfall; es ist also die verzögerte Reizwirkung besonders günstig für die Bestrahlung in Pausen, für die Verabreichung der erstrebten Gesamtdosis in fraktionierter Form. Denn man kann, was oft sehr wichtig ist, dem Gewebe, bezw. den Patientinnen, nun natürlich eine gewisse Ruhe lassen, bevor man den zweiten Reiz einwirken läßt, ohne befürchten zu müssen, daß der erste Reiz bereits soweit abgeklungen ist, daß der zweite völlig isoliert dasteht. Denn nicht Einzelschläge zu erteilen ist das Streben, das wir in der Radiumbehandlung verfolgen; was wir wünschen, ist eine möglichst volle (algebraische) Summation der zu verschiedenen Zeiten gegebenen Impulse.

C. *Die Dosis und die Schwankungen der Sensibilität.*

Wir haben im vorangehenden Abschnitt gehört, was wir Dosis nennen, und haben sie durch den Kulminationspunkt (E) einer Kurve in mathematisch-geometrischer Form ausgedrückt. (Abb. 1.) Im folgenden müssen wir über die Dosis noch weiteres hören. Es versteht die Medizin unter Dosis ein Maß oder ein Gewicht, mit dem ein bestimmter Erfolg verbunden ist, und sie weiß daher, abgesehen von individuellen Schwankungen, den Erfolg genau vorauszubeurteilen, wenn sie die durch Experiment oder Erfahrung bestimmte Gewichtsmenge eines Pharmakons verabreicht. Wenn es nun trotzdem nicht in allen Fällen gelingt, den Erfolg mit Sicherheit vorauszusagen — z. B. die Wirkung der Digitalisdroge bei Myocarditis — so liegt das entweder an dem Organ, das wir mit der Dosis spezifisch beeinflussen wollen, oder an Faktoren, die wir nicht mit der Medikation beherrschen und die doch bestimmend im Krankheitsbilde mitsprechen

(Schwielenbildung in der Herzmuskulatur, Störung der Reizleitung, lokale Stauungen usw.). Wenn wir z. B. einen Muskel durch Nervenreize zur Kontraktion bringen, so wird der Reiz solange zu demselben Erfolg führen (Hebung eines Gewichts), als nicht im Nerv oder im Muskel eine Änderung der Reizempfindlichkeit eingetreten ist. Nicht immer muß das zu schwächerem Erfolg führen (Ermüdung), häufig tritt auch Empfindlichkeitssteigerung ein. Sie kann sich unter physiologischen oder pathologischen Bedingungen bemerkbar machen, und es ist keine ungewöhnliche Beobachtung, daß wir bei krankhaft veränderten Organen und ebenso auch bei Geschwülsten eine wechselnde Empfindlichkeit beobachten. So spricht, um bei dem angezogenen Beispiel zu bleiben, nur das kranke, nicht das gesunde Herz auf Digitalis an, und in der gleichen Weise können Carcinome und Sarkome auf die Bestrahlung mit Radium ganz verschieden reagieren und in weiten Grenzen schwankend sich entweder zurückbilden oder sich refraktär erweisen. Nach den Erfahrungen der letzten Zeit (Adler, Kehrer-Lahm, Lenk) ist diese Strahlenempfindlichkeit der Geschwülste, insbesondere auch des Carcinoms — abgesehen von der Gesamtkonstitution — ganz außerordentlich von dem histologischen Charakter derselben, insbesondere von ihrem Reifegrad, abhängig. Unter Reife aber versteht man die Größe des atavistischen Rückschlags vom Mutterboden aus, und ganz allgemein darf man vielleicht sagen: je näher ein Carcinom in seinem Aufbau dem normalen Gewebe steht, desto mehr nähert es sich in bezug auf seine Strahlenempfindlichkeit dem Mutterboden; je weiter es sich davon entfernt, je unreifer es ist, desto strahlenempfindlicher wird es. Da nun aber der Abstand von dem histologischen Charakter des Muttergewebes nicht

zugleich ein Maß für die klinische Bösartigkeit der Geschwülste ist, sind Malignität und Strahlenempfindlichkeit einer Geschwulst nicht, wie oft angenommen wird, korrespondierende Dinge.

Die einmal als notwendig erkannte Dosis — wir werden später sehen, daß dieselbe beim Carcinom geschätzt oder individuell bestimmt werden muß — kann in verschiedener Form verabreicht werden, und zwar entweder als Volldosis, Dosis plena, oder als verschleppte Dosis, Dosis refrakta. Volldosen zu geben, ist am angenehmsten, weil uns solches Verfahren vor Komplikationen schützt, die vor allen Dingen dadurch gegeben sind, daß wir nicht immer sicher sein können, ob bei Dosis refrakta an gewünschter Stelle wirklich eine Reizsummation eingetreten ist. Aus zwei Gründen aber läßt sich dieses Streben nicht immer verwirklichen; ganz abgesehen davon, daß wir bei der einzeitigen Volldosis damit rechnen müssen, den Gesamtorganismus so schwer zu schädigen, daß er sich nicht mehr richtig erholt, können auch, wenn wir das lokal nicht überdosiert haben, Verhältnisse eintreten, welche eine vorzeitige Entfernung des Radiumpräparates zur zwingenden Notwendigkeit machen. So verhindert z. B. das intrauterin eingelegte Radiumröhrchen den Abfluß der uterinen Ex- und Sekrete, welche sich unter dem Einfluß der Bestrahlung in verstärktem Maße bilden; es kommt bei längerer Bestrahlung als 24 Stunden zur Rückstauung derselben, zur Infektion und damit zu Komplikationen, welche mit dem Radium an sich gar nichts zu tun haben, welche das Gesamtresultat unserer Bestrahlungen aber aufs ungünstigste beeinflussen müssen. Deshalb soll jede Bestrahlungsform, die wir zur Anwendung bringen, den besonderen Verhältnissen Rechnung tragen, wobei hinzukommt, daß wir auch die

Pausen bei der Dosis refrakta nicht zu lang wählen dürfen, wenn nicht der Erfolg des ersten Reizes des vorangegangenen Bestrahlungstages völlig isoliert dastehen soll. Für das Radium wissen wir aus klinischen und pathologisch-anatomischen Erfahrungen, daß bei mittlerer Reizgröße, wie sie mit rund 50 mg Ra.-Element bei etwa 48stündiger Bestrahlung noch in 2—5 cm Tiefe erreicht wird, eine Unterbrechung der Strahlung auf 3—5mal 24 Stunden den Gesamterfolg nicht wesentlich gegen den herabmindert, der bei ununterbrochener Verabreichung der Dosis plena zu erwarten steht.

Die Angabe der Dosis geschieht in absoluten Zahlenwerten in $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$ oder auch nach dem Vorgange der Erlanger und Freiburger Klinik in Prozent der Hauterythemdosis. Wir bevorzugen, weil die Rechnung nach Prozentzahlen leicht zu Abrundungen führt, die nicht erlaubt sind, die bestimmtere Angabe nach der lokalen Radium-Element-Konzentration in $\frac{\text{mge}}{\text{cm}}$ und der Dauer der Bestrahlung und geben, wie oben bereits hervorgehoben wurde,

die Ovarialdosis mit 250 $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$ (= 33% der H.E.D.)

die Carcinomdosis mit 250—750 $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$ und mehr (= 33—100% der H.E.D.)

die Sarcomdosis mit rd. 500 $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$ (= 60% der H.E.D.)

an.

4 *Die physikalischen Grundlagen der Strahlenwirkung.*

Von physikalischen Dingen haben wir oben schon kurz gesprochen, als von den allgemeinen Wirkungen des γ-

Strahls die Rede war. Was wir hier noch nachzutragen haben, sind Gesetze, welche uns dazu befähigen sollen, die Reizgröße für verschiedenartige Radiumpräparate, für wechselnden Abstand von der Strahlenquelle, kurz, für alle nur denkbaren Fälle richtig zu erfassen. Zugleich werden wir hier die Prinzipien kennen lernen, welche für jede Strahlen-Tiefentherapie von entscheidender Wichtigkeit sind.

A. Die Sekundärstrahlung.

Wir haben oben den Radiumstrahl verfolgt, bis er aus dem Radiummolekül ausgetreten war und das Messingfilter passiert hatte. Es entsteht jetzt die Frage, was mit ihm geschieht, wenn er sich weiter nach allen Seiten gleichmäßig, wie sich das für einen Ätherstrahl gehört, ausbreitet. Es soll das Ergebnis vorweggenommen werden, ohne die mehr historische Seite der Frage, wie man zu demselben gelangte, anzuschneiden: der γ-Strahl wird Veranlassung zu einer Sekundärstrahlung, von der wir drei Formen als bedeutungsvoll erwähnen.

a) Die Streustrahlung.

Sie entsteht überall, in Luft, in Wasser, im Gewebe, im Körper, wohin auch immer der γ-Strahl dringt. Dem Wesen nach ist die Streustrahlung, welche man auch zweckmäßig als „gestreute Strahlung" bezeichnet, die gleiche Energieform wie die des γ-Strahls. Man hat sich nur vorzustellen, daß der Ätherstrahl in elastischem Anprall auf die Moleküle der Materie auftrifft und, durch sie aus seiner bisherigen Richtung abgelenkt, nun Strahlen nach allen Seiten, vorwärts, rückwärts, aufwärts, abwärts usw. aussendet; der Erfolg davon ist der, daß das primäre Strahlenbündel zwar

an Ort und Stelle in seiner Intensität geschwächt wird, daß dafür aber das benachbarte Feld, selbst die nicht direkt getroffenen Seitenpartien, Radiumstrahlen erhalten. Streustrahlung ist also zwar Verlust an Energie im primären Strahlenbündel; es ist aber kein dauernder, sondern nur ein lokaler Verlust. — Die Anzahl der Streustrahlen (Stärke der Streuung) steht dabei in erster Linie in Abhängigkeit von dem Kubikinhalt des bestrahlten Gewebes. Biologisch bedeutet die Streustrahlung einen Zuwachs zur Primärenergie (Streuzusatzdosis), der um so größer ist, je breiter der Strahlenkegel im Gewebe liegt (Rauminhalt des Strahlenbündels!).

b) Die sekundäre β-Strahlung.

Auch sie entsteht überall, wo stoffliche Anteile von den γ-Strahlen getroffen werden. Während es sich aber bei der Streustrahlung nur um eine Ablenkung des Primärstrahlenbündels handelte, findet jetzt eine Umwandlung, eine Transformation der Energie, statt: jedes Molekül, das getroffen wird, wird zum eigenen Kraftspender; indem es teilweise zertrümmert wird, nimmt es die eingedrungene Energie in sich auf und gibt negative Elektrizität — Kathodenstrahlen — ab. Es ist die sekundäre β-Strahlung also eine Massenstrahlung und wird dementsprechend auch als korpuskuläre Sekundärstrahlung bezeichnet. Diese Form der Strahlung ist sehr wichtig, denn wir müssen annehmen, daß der Hauptteil der Wirkung eines Ätherstrahles auf die Transformation seiner Energie in korpuskuläre Sekundärstrahlung zurückzuführen ist: z. B. die chemische Wirkung, die Photoaktivität, die Wärmeentwicklung, die Jonisation der Luft und vermutlich auch der biologische Erfolg. Bei dem letzteren bleibt allerdings immer noch die Frage offen,

ob nicht auch der Ätherstrahl an sich ohne Transformation seiner Energie nach Art eines Katalisators Wirkungen auf das Gewebe haben könnte.

c) Die Eigenstrahlung,

auch als „charakteristische Strahlung" bezeichnet, entsteht nur in Metallen mit einem Atomgewicht höher als dem des Aluminiums (27). Sie ist wie die Streustrahlung eine Ätherstrahlung, keine Massenstrahlung, und ruft als solche wieder sekundäre β-Strahlung hervor; Voraussetzung für ihre Bildung ist stets eine bestimmte Beziehung zwischen der Primärstrahlung (Härte) und dem getroffenen Metall (Dichte). Das Metall muß gewissermaßen auf die Strahlung „ansprechen" — etwa in der Weise, wie die Saiten eines Instrumentes beim Anschlagen eines gleichgestimmten Tones anfangen mitzuschwingen.

B. Die Absorption.

Die Sekundärstrahlung, welcher Art sie auch sei, muß den Primärstrahl schwächen. Die Gesamteinbuße eines Strahls beim Durchgang durch einen Centimeter (oder 1 Millimeter) Materie bezeichnet man als Abschwächung, oft auch Absorption genannt. Sie ist nach dem, was wir oben gehört haben, um so größer, je mehr Sekundärstrahlung in dem betreffenden Körper entsteht. Aber ein Faktor, den man lange übersehen hatte, spielt bei der Intensitätsabnahme eine besonders große Rolle: die räumliche Ausdehnung des Strahles selbst. Verwendet man z. B. ein ganz schmales, dünnes, scharf ausgeblendetes Strahlenbündel, so bedeuten alle Formen der Sekundärstrahlung Verluste; ganz anders aber, wenn man Messungen im breiten Strahlenkegel eines nicht abgeblendeten Präparates vornimmt. Lokal, an irgend einer, z. B.

der Stelle der Messung, wird allerdings durch Sekundärstrahlung stets derselbe Verlust eintreten, wie bisher; aber dadurch, daß nun von Nachbarbezirken her die Streustrahlung wieder neu einfällt (siehe oben), kann die gesamte Einbuße durch Absorption wieder ausgeglichen, ja sogar überkompensiert werden. Man bezeichnet diesen Gewinn, der ja nur auf die Streustrahlung zurückzuführen ist, da die korpuskuläre β-Strahlung und charakteristische Strahlung als echte Transformationen verschwinden, sobald sie entstehen, als Streuzusatzdosis. — Im übrigen aber wird eine Strahlung um so mehr absorbiert, je weicher sie ist und je größere Dichte das durchstrahlte Objekt aufweist. Beide Dinge spielen in der Radiumtherapie keine große Rolle, weil weder Muskeln, noch Fett, noch Knochen bei der großen Härte der γ-Strahlen nennenswerte Unterschiede bezüglich der Absorption aufweisen. Wenn wir hier trotzdem noch mit einem Wort auf die Absorption eingehen, so geschieht das deshalb, weil wir durch sie Aufschluß gewinnen können über eine der Haupteigenschaften der Strahlen, die soeben genannte

Härte.

Unter Härte einer Strahlung versteht man die vergleichsweise bei ein und demselben Filter festgestellte Absorption (pro cm oder mm Schicht). Eine Strahlung (A), welche z. B. 1 cm Muskelschicht mit 10% Verlust ihrer Intensität durchdringt, nennen wir härter, als eine andere, die 15 oder 20% ihrer primären Energie einbüßt. Solche Absorptionsbestimmungen setzen natürlich die Messung der Intensität, z. B. durch den biologischen Versuch, voraus. Sehr gern gibt man als Maß der Härte die sog. Halbwertschicht (Christen) an und versteht darunter die Dicke einer Schicht, welche die Intensität

einer Strahlung (also z. B. ihren biologischen Erfolg) auf die Hälfte reduziert. Es beträgt die Halbwertschicht für den γ-Strahl des Radiums ungefähr

in Wasser	162 mm
in Blei	12 mm
in Aluminium	60 mm

woraus sich leicht auch die durchschnittliche Abnahme pro cm Schicht errechnen läßt. Dieselbe beträgt (rund)

für Wasser	3%
für Blei	50%
für Aluminium	8%.

Und da Wasser ganz in der gleichen Weise absorbiert wie das Körpergewebe des Menschen, so läßt sich aus diesen beiden Tabellen die Abschwächung der lokalen Impulsstärke durch die Absorption berechnen. Sie erfolgt nach mehr oder minder komplizierten Formeln und ist auf den Tabellen des II. Teils für verschiedene Radiumpräparate durchgeführt.

C. Das Quadratgesetz.

Der Strahl, der sich im Raume ausbreitet, erfährt auch Verluste rein geometrischer Art, d. h. dadurch, daß er in größerer Entfernung von dem Ort seiner Entstehung immer größere Flächen bestrahlen muß. Es geht diese Abnahme der Intensität mit der Entfernung am besten aus der folgenden Abbildung (Abb. 2) hervor, worin Ra. das strahlende Radium, Fl. 1 die bestrahlte Fläche in 1 cm, Fl. 2 die bestrahlte Fläche in 2 cm, Fl. 3 die bestrahlte Fläche in 3 cm Entfernung vom Radium bedeutet. Wie man unschwer ausmessen kann, ist Fl. 2 viermal so groß als Fl. 1, weil sie zweimal so weit

ist von Ra. wie Fl. 1. Fl. 3 ist neunmal so groß wie Fl. 1, weil sie dreimal so weit ist von Ra. wie Fl. 1 usw., woraus sich leicht das Gesetz ergibt, von dem hier die Rede ist, das Gesetz der quadratischen Abnahme. Dieser Verlust der Strahlungsintensität mit dem Quadrat der Entfernung addiert sich stets zu dem durch Sekundärstrahlung hinzu und ist, wie man sofort einsehen wird, unabhängig von dem Substrat der durchstrahlten Materie oder der Qualität der Strahlung, weil er einem geometrischen Gesetz, nämlich dem der Strahlenausbreitung, folgt. Wir haben deshalb keine

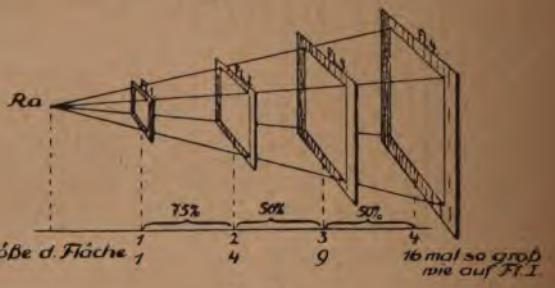

Abb. 2.

Möglichkeit, in irgend welcher Weise hier ändernd einzugreifen, und können z. B. die rasche Abnahme der Intensität von 1 auf $^1/_4$ (von 100% auf 25%) zwischen dem ersten und zweiten Centimeter (Impulssturz) nur durch andere Anordnung und Verteilung des Radiumpräparates mehr oder minder unwirksam machen; aufheben können wir das Quadratgesetz niemals. Im zweiten Teil dieser Arbeit ist die Bedeutung des Quadratgesetzes zusammen mit derjenigen der Sekundärstrahlung unter Zuhilfenahme der biologischen Kontrolle in Tabellenform berechnet und damit die Unterlage

geschaffen worden für die Verwendung des Radiums als Mittel für die Tiefentherapie.

Die Prinzipien der Tiefenbestrahlung.

Wenn wir bisher die biologischen und physikalischen Grundlagen der Radiumtherapie besprochen haben, so muß es jetzt unsere Aufgabe sein, die Bedingungen klarzulegen, unter denen wir die erkannten Gesetze in die Praxis überführen können. Zunächst aber nochmals eine möglichst klare Formulierung der wichtigsten Tatsachen.

Im Mittelpunkt aller unserer Überlegungen hat die Strahlenempfindlichkeit zu stehen, denn erst dadurch, daß das Carcinomgewebe empfindlicher ist als das Bindegewebe, und als so viele andere wichtige Organe, haben wir die Möglichkeit des therapeutischen Angriffs auf den Krebs gewonnen. Von fast der gleichen Bedeutung ist es, das Strahlenfeld so zu machen, daß auf weite Strecken hin das ganze Gewebe in ein Feld von gleicher Intensität eingetaucht ist, weil wir nur so die verschiedene Strahlenempfindlichkeit uns voll zu Nutze machen können. Das Strahlenfeld sei also

quantitativ und qualitativ homogen,

d. h. man muß es nach allen Richtungen durchqueren können, ohne auf allzu große Schwankungen der Strahlengattung bezw. der Strahlenstärke zu stoßen. Das ist eine Forderung, die zuerst und am nachdrücklichsten von Prof. Dessauer (Frankfurt) erhoben worden ist und sich trotz allen Widerspruchs, besonders der ersten Zeit, siegreich durchgerungen hat.

Die Herstellung der qualitativen Homogenität, unter der wir auch die Einheitlichkeit des therapeutisch wirksamen Ätherstrahls verstehen können, haben wir beim

Radium leicht. Wie oben gezeigt wurde, genügt die einfache Abfilterung mit 0,8—1 mm Messing, um die unerwünschten Strahlenqualitäten der α- und β-Strahlen aus dem Strahlenfeld auszuscheiden und nur den fast vollkommen einheitlichen γ-Strahl übrig zu behalten.

Das Strahlenfeld des Radiums quantitativ homogen zu machen, gelingt sehr schwer. In Nachahmung des Vorgehens bei der Röntgentiefentherapie wollte man auch bei dem Radium entweder aus größerer Entfernung bestrahlen oder den Krebs unter Kreuzfeuer nehmen. Es ist ja klar, je größer der Abstand von der Strahlenquelle ist, desto geringer ist die prozentuale Abnahme der Strahlenintensität von einer bestrahlten Fläche zur anderen durch das geometrische Gesetz. Betrachtet man z. B. die obige Abb. 2, so liest man aus den beigegebenen Zahlen ohne weiteres ab, daß zwischen Fläche 1 und Fläche 2 nicht weniger als 75% Strahlenintensität verloren gehen, daß zwischen Fläche 2 und 3 der Verlust nur noch 50% beträgt und bei jeder größeren Distanz noch weiter absinkt. Aber wenn man nun auch dem hier erkannten Prinzip folgt und mit dem Radiumröhrchen um mehrere Centimeter von der Fläche 1 abrückt, so haben wir damit mehr Verlust als Gewinn. Was an Homogenität des Strahlenfeldes gewonnen wird, das geht an der lokalen Radium-Element-Konzentration und damit an der Zeitdauer der Bestrahlung verloren; und wohin soll es schließlich führen, wenn unter ungeheurer Verschwendung des so wertvollen und kostbaren Materials und der therapeutisch wirksamen Energie immer größere Strecken zwischen das Radiumpräparat und das zu bestrahlende Objekt gelegt werden? Daran ändert auch die Tatsache nichts, daß man technisch immer mehr Radium gewinnen wird und schließlich mit phantastischen Mengen von einem oder mehreren Gramm Radium wird be-

strahlen können! Dasselbe gilt für die Kreuzfeuerbestrahlung, die technisch vollkommen doch nur mit großen Mengen Radium aus erheblichem Abstand vorgenommen werden kann. Nur in ganz seltenen Fällen äußerer Carcinome (Hautkrebse) wird man durch direkt angelagerte Radiumpräparate ein wirklich wirksames Kreuzfeuer mit leidlich homogenem Strahlenfeld auf das Carcinom eröffnen können. Und doch bleibt uns noch ein Ausweg. Es soll im folgenden gezeigt werden, wie allein durch die Anordnung des Radiumsalzes, wie ich sie gemeinsam mit Geheimrat Kehrer durchgeführt habe, ohne Verlust an Energie infolge räumlicher Trennung der Strahlenquelle vom Objekt doch eine praktisch genügende Homogenität des Strahlenfeldes erzeugt werden kann. Wir haben nämlich in extremer Verfolgung eines wohl zuerst von Geh. Rat Menge und Eymer (Heidelberg) geübten Verfahrens statt des auf kleinem Raum konzentrierten Radiumpräparates das Radiumsalz fein verteilt in Form einer langgestreckten Radiumcapillare zur Anwendung gebracht. Dadurch sinkt auf einem Gewebsstück in unmittelbarer Umgebung der aktiven Substanz die Strahlenintensität stark ab, weil ihm nur ein Bruchteil der bisherigen Gesamtmenge an Radium gegenüberliegt, indessen die Pole der langen Röhre kaum noch wirksame Strahlen, wegen der Größe der Entfernung, senden können. In größerem Abstand wiederum aber gleicht sich der Unterschied der „zentralen und polaren Beleuchtung" ganz wesentlich aus, so daß dort wieder die gleiche Wirkung erreicht wird, als ob das Salz noch in einem Punkt vereinigt sei. Es belehrt über den Vorzug dieser neuen Anordnung vielleicht am schnellsten und besten die folgende Figur (Abb. 3), an der man die Abnahme der Intensität bei punktförmigen und bei gestreckten Präparaten — hier

nur nach dem geometrischen Gesetz berechnet — leicht erkennen kann. Als Erfolg der kapillaren Anordnung ist eine Homogenität des Strahlenfeldes erreicht, wie sie bisher in der Radiumbestrahlung noch niemals — zum mindesten nicht bewußt — angewendet worden ist. Dabei

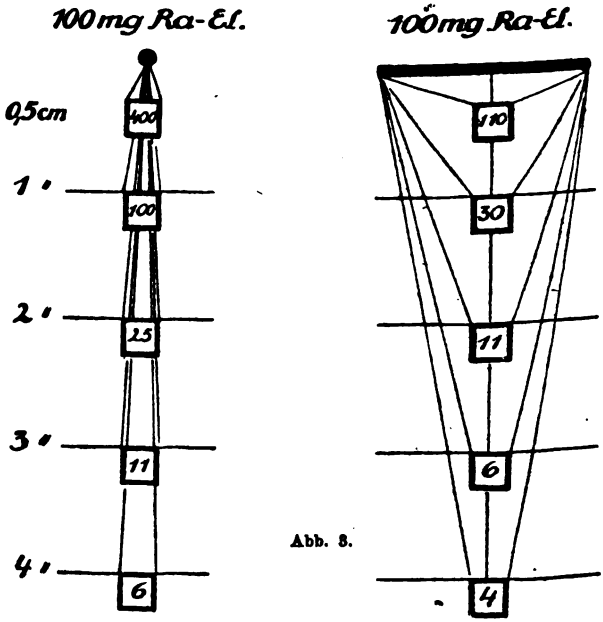

Abb. 8.

bleibt uns außer der Streckung des Radiumpräparates noch durch die Kombination mit mehreren Radiumpräparaten in verschiedenen Ebenen und getrennt von dem Hauptröhrchen die Möglichkeit offen, eine weitere Verbesserung des Strahlenfeldes vorzunehmen. Um diesen Gedankengängen auch messend folgen zu können, bedarf es einer kurzen Erläuterung.

Will man sich über die Natur eines Kraftfeldes orientieren, vor allem über die Schwankungen seiner „Feld-

stärke", so verbindet man die Punkte gleicher Intensität durch Striche und gewinnt dadurch schließlich Kurven, welche man als Isodynamen, als Iso-Intensitätsflächen usw. bezeichnet. Wendet man das gleiche Verfahren in der Radiumtherapie an, so findet man, daß auch das „Kraftfeld" eines Radiumröhrchens Isodynamen oder Iso-Intensitätsflächen enthält. Sie haben Kurvenform und verlaufen um unser langgestrecktes Radiumpräparat, wie es auf der Tafel II dargestellt ist, im allgemeinen in Form von Ellipsen, welche in größerem Abstand vom Radium von Kreislinien aber kaum mehr zu unterscheiden sind; sie sind, den beiden Polen des Präparates entsprechend, eingedellt, weil infolge der Absorption der längs verlaufenden Strahlen im Radiumsalz selbst größere Verluste an Strahlenintensität entstehen. An dieser Stelle ausgleichend zu wirken und darüber hinaus das Strahlenfeld gewissermaßen noch appositionell zu vergrößern, ist das Ziel, das wir durch die Kombination mehrerer Strahlenzentren verfolgen. Denkt man sich z. B. in dem in Tafel II dargestellten Strahlenfeld zwei neue punktförmige Zentren in der Nähe des unteren Poles des Radiumröhrchens angebracht, so erhält man ein Strahlenfeld, das nicht nur die polare Einziehung vermissen läßt, sondern auch noch nach links und rechts oder vorn und hinten Ausbuchtungen aufweist (Tafel III), welche man leicht im menschlichen Körper so zu lagern vermag, daß sie in die Aushöhlung des Kreuzbeins passen bezw. das Gebiet der unteren Scheide erreichen. Hindernd tritt solchen Kombinationen nur das eine in den Weg, daß man die Belastung des Organismus mit γ-Strahlen nicht über ein bestimmtes Maß hinaustreiben kann. Präparate mit mehr als 70 mg Ra.-El. länger als zweimal 24 Stunden liegen zu lassen und solche Sitzungen öfter als drei- bis

viermal zu wiederholen, empfiehlt sich wegen der Allgemeinschädigung der Frauen nicht. Wird diese Grenze, die einer Gesamtdosierung von etwa 12000 $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$ entspricht, überschritten, so treten mit zunehmender Anämie Schwächegefühl, Appetitlosigkeit, Hinfälligkeit ein und jede weitere Bestrahlung verschärft den ungünstigen Allgemeineindruck, den man nach der erstmaligen zu langen und zu starken Bestrahlung sich entwickeln sah (Strahlenkachexie).

II. Teil: Praktischer Teil und Tabellarium.

Was die praktische Anwendung des zuletzt skizzierten Radiuminstrumentariums betrifft,[1]) so muß die Methodik des Einlegens, die Wahrung der Asepsis usw. als bekannt vorausgesetzt werden. Was wir dagegen eingehender unter Hinweis auf das beigefügte Tabellarium besprechen müssen, das sind die Reichweite bezw. Tiefenwirkung solcher Präparate und die Grenzen ihrer Anwendbarkeit insbesondere in der Gynäkologie.

Ganz allgemein ist zu sagen: Was für den Röntgenologen die Haut, das ist für den Radiumtherapeuten in der Gynäkologie das Rektum sowie die Hohlorgane des kleinen Beckens überhaupt, Blase und Ureter. Während aber der Röntgenologe bei seinen tiefentherapeutischen Bestrahlungen meist die Haut erst passieren muß, ehe er das Carcinom erreicht, kann das Radium fast zentral in den Gebärmutterkrebs eingelegt werden, so daß seine Strahlen zuerst das „Erfolgsorgan", zum mindesten aber den Haupttumor, dann erst die Rektumschleimhaut erreichen. Kommt uns dies eine Moment schon zu Nutzen, so spricht noch ein zweites mit: Wie sich in vielfachen Untersuchungen und in Übereinstimmung mit den Röntgenologen herausgestellt hat, ist das Rektum und ebenso Blase und Ureter gegenüber den Radiumstrahlen wesentlich unempfindlicher als die Haut; sie vertragen etwa 190% der Hauterythemdosis, ehe sie ernstlich geschädigt werden, so daß man beruhigt in den Primärtumor hinein, zumal, wenn er allseitig das Radium umgibt, erhebliche Strahlen-Intensitäten

[1]) Siehe Fußnote auf Seite 9.

schicken kann. Dafür droht uns aber mit der fortgesetz
Radiumeinlage eine andere Gefahr, die nur indirekt mit d
Radium als solchem zusammenhängt: die Infektion
gefahr vom Cervikalkanal aus. Wie allgeme
bekannt, vermag schon das einfache Einlegen eines
trauterin-Stäbchens bei nicht genügender Asepsis oder b
infiziertem Halskanal in vielen Fällen zum Einpressen v
Keimen in die Lymphbahnen der Cervix und des paracervik
len Bindegewebes zu führen und Fieber, unter Umständ
Schüttelfröste und septische Erscheinungen hervorzurufe
Um wieviel häufiger müssen solche Zufälle bei der B
strahlung des Gebärmutterkrebses beobachtet werden, d
jeder Krebs des Halskanals als infiziert anzusehen ist u
die unvermeidlichen Nekrosen dicht beim Radium ein
so ausgezeichneten Nährboden für Keime aller Art liefe
Eine Desinfektion aber durch irgendwelche Mittel ist
dieser Stelle nicht möglich. Man muß daher von vo
herein sehr schonend und sehr aseptisch bei der Einl
des Radiums vorgehen, jede Dislokation der Cervix u
soweit wie möglich auch jede vorbereitende Erweiter
des Halskanals vermeiden, ein Postulat, dem die ungem
schlanke Form unserer „Radiumcapillare" weitgehend e
gegenkommt.

Die Tiefenwirkung des Radiums.

Es ist von den verschiedensten Seiten die Behaupt
aufgestellt worden, das Radium wirke im allgemeinen
bis 5 cm tief; mit kleineren Werten brauche man nic
und mit größeren Werten dürfe man nicht rechnen. E
ist sicher falsch, in dieser Form die Reichweite der
Strahlen des Radiums abzutun. Die Wirkung des Radium
ist, wie wir gehört haben, abhängig von der loka
len Radium-Element-Konzentration, von d

Dauer der Bestrahlung und der Radiosensibilität des bestrahlten Gewebes. Eine Angabe über die Tiefenwirkung muß also unbedingt diesen drei Gesichtspunkten Rechnung tragen, wobei allein die lokale Radium-Element-Konzentration Veränderungen durch die früher genannten Gesetze (Quadratgesetz, Sekundärstrahlung) unterworfen ist.

Wir wollen dafür ein Beispiel geben. Es ist oben mitgeteilt worden, daß die Empfindlichkeit der Ovarien 250, die der Haut 750 $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$ beträgt. Nimmt man an, daß mit 100 mg Ra.-El. 25 Stunden lang bestrahlt werden soll, so kann man sich zwei Fragen vorlegen:

1. Wie tief unter der Haut dürfen die Ovarien liegen, damit Amenorrhoe eintritt?

2. Welcher Abstand von der Haut darf nicht überschritten werden, wenn Erythem eintreten soll?

Es ist im ersten Fall (Frage 1) bei 25stündiger Bestrahlung die notwendige lokale Ra.-El.-Konzentration 10 $\frac{\text{mge}}{\text{cm}}$; es muß also mit dem Präparat von 100 mg Ra.-El. so weit weggegangen werden, daß noch eine lokale Ra.-El.-Konzentration von 10 $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$ übrig bleibt. Bei alleiniger Berücksichtigung des Quadratgesetzes entspräche das einer Entfernung von 3,3 cm, da $\frac{100}{3{,}3^2} = 10$ ist. Dementsprechend haben wir hier eine Tiefenwirkung von 3,3 cm zu erwarten.

Die Hautreaktion (Frage 2) in 25stündiger Bestrahlung hervorzurufen, bedarf es einer lokalen Ra.-El.-Konzentration von 30 $\frac{\text{mge}}{\text{cm}}$. Man dürfte also höchstens 2 cm Abstand nehmen (genau 1,8 cm, denn $\frac{100}{1{,}8^2} = 30$), wenn man noch ein Haut-

erythem erwarten will; in 2 cm Abstand ist (nach dem Quadratgesetz berechnet) die Intensität von 100 bereits auf 25 abgesunken. Tiefenwirkung also 1,8 cm.

Daraus erkennt man von welch ausschlaggebender Bedeutung gerade die Sensibilität für die Reichweite der γ-Strahlung ist, denn obwohl in beiden Fällen mit 100 mg Ra.-El. 25 Stunden lang bestrahlt wurde, beträgt die Tiefenwirkung das eine Mal 3,3 cm, das andere Mal nur 1,8 cm.

Die Grenzen der Bestrahlung.

Kaum, daß man es glaubt erwähnen zu müssen, so klar ist, daß man nicht wahllos große Energiemengen an Strahlen von irgendeiner Stelle aus in den Körper senden darf. Das sind die Grenzen, die der Radiumbestrahlung gezogen sind. Wir haben oben schon gehört, daß es wegen der Schädigung des Blutes nicht zweckmäßig ist, den Körper mit mehr γ-Strahlen zu belasten, als der Intensität von vielleicht 12 000 $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$ entspricht. Bis dahin gibt es aber außerdem noch gewissermaßen eine Stufenleiter in der Dosierung, die man nicht ungestraft für den Einzelfall vernachlässigen darf. Maßgebend dafür ist die Rektumdistanz. Wissen wir doch, daß die Rektumschädigung nicht nur wegen der Tenesmen, der schleimig-eitrigen und blutigen Ausleerungen, sondern ganz besonders wegen der Eröffnung einer Eintrittspforte für Darmkeime mit zur unangenehmsten Komplikation der Radiumbestrahlung (Überdosierung) gehört und daher unbedingt vermieden werden muß. Soll das aber geschehen, so muß die Radiosensibilität der Mastdarmschleimhaut bei bekannter Entfernung derselben von dem Radiumröhrchen die höchst zulässige Bestrahlungsdauer festzusetzen gestatten.

Auch hierzu zwei Beispiele. Nehmen wir an, es beträgt in einem Fall A die Rektumdistanz 2, in einem Fall B aber 3 cm (starke Auftreibung des Halskanals), so darf bei einer Radiosensibilität der Mastdarmschleimhaut von $1400 \frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$ (s. Tabelle auf S. 15) und einer (angenommenen, in jedem Fall ja leicht zu berechnenden oder aus den Kurven auf Tafel I und II abzulesenden) lokalen Ra.-El.-Konzentration von $10 \frac{\text{mge}}{\text{cm}}$ nicht länger als 144 Stunden bestrahlt werden. Während man aber im ersteren Fall nur mit einem Präparat von 40 mg Ra.-El. arbeiten darf, weil dieses bereits in 2 cm Tiefe eine lokale Ra.-El.-Konzentration von $10 \frac{\text{mge}}{\text{cm}}$ bewirkt, darf man im zweiten Falle ruhig mit der Radiummenge auf 90 mg in die Höhe gehen, weil die Distanz zwischen Rektum und Radium 3 cm beträgt und der erlaubte Grenzwert von $10 \frac{\text{mge}}{\text{cm}}$ selbst bei Verwendung des hochwertigen Präparats erst in 3 cm Abstand erreicht wird $(\frac{90}{3^2} = 10)$.

Aussicht auf Erfolg.

In dem zuletzt besprochenen Abschnitt sind Grenzen festgelegt, die im Einzelfall den Erfolg unserer Behandlung sehr in Frage stellen können. Reicht z. B. ein Carcinom viel tiefer in das Parametrium hinein als das Rektum vom Cervikalkanal entfernt ist, und hat es mit diesem die Radiosensibilität gemein, so ist die Aussicht auf Erfolg natürlich denkbar gering.

Es steht dieses Carcinom, wie wir mit Beziehung auf die Strahlentherapie zu sagen pflegen, an der Grenze der „Operabilität", ein Begriff, der sich natürlich mit dem der Operabilität im chirurgischen Sinne nicht deckt. Darüber hinaus gibt es nun zweifellos noch Carci-

nome, welche „refraktär", d. h. unempfindlich für die in therapeutisch möglichen Grenzen gelegene Dosierung sind; sie sind „inoperabel" im Sinne der Strahlenbehandlung. Deshalb ist es auch unsere erste Pflicht, mit der Diagnose des Carcinoms auch seine individuelle Strahlenempfindlichkeit (durch die probatorische Bestrahlung) festzustellen.

Wir verabreichen zu diesem Zwecke auf das Carcinom eine Strahlendosis von ungefähr 1300 $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$ und entnehmen nach vier Tagen ein Stückchen des Gewebes, um nach den mikroskopischen Veränderungen die Strahlenempfindlichkeit des Carcinoms zu beurteilen. Es geschieht das auf Grund zahlreicher Erfahrungen über den histologischen Aufbau des Krebses und den Einfluß, den die Radiumbestrahlung auf das Zellgewebe hat. Ganz allgemein kann man in gewissem Umfange die Strahlenempfindlichkeit des (Collum-)Krebses nach seinem Reifezustand schätzen und annehmen, daß

der reife Krebs mit einer Dosis von 800 $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$
der mittelreife Krebs mit einer Dosis von 300—500 $\frac{\text{mg}}{\text{cm}}$
der unreife Krebs mit einer Dosis von 500—1500 $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$

eingeschmolzen wird, daß aber das reine Adenocarcinom der Portio auf Radium schlecht oder überhaupt nicht reagieren pflegt. Aber auch hierbei kommen individuelle Abweichungen vor.

Bei der ersten Untersuchung eines neu zugegangenen Carcinomfalles wird auch der Abstand der vorderen Rektumwand vom Cervikalkanal möglichst genau durch rektale und vaginale Untersuchung angegeben, weil er, wie oben ausgeführt

über die jeweilig zulässige Höchstbestrahlungszeit entscheidet (siehe Tabellen). Ist man sich über diese beiden Dinge: Strahlenempfindlichkeit des Carcinoms und Abstand des Rektums, klar geworden, so prüft man noch mit möglichster Genauigkeit den Stand der äußersten Vorposten des Carcinoms und ihre Entfernung vom äußeren Muttermund. Denn in den Fällen, wo die Strahlenempfindlichkeit des Carcinoms zwar nicht der des Rektums gleichkommt, sich aber der Hautempfindlichkeit nähert und gleichzeitig die Rektumdistanz nicht allzu groß ist, kann man nicht hoffen, mit den Radiumstrahlen das ganze kleine Becken so zu treffen, daß sämtliche Carcinomnester darin die Carcinomdosis erhalten. Man muß infolgedessen aus der Tabelle feststellen, wie weit bei einer bestimmten Strahlenempfindlichkeit des Krebses und bei einem bestimmten Rektumabstand die zu erwartende Tiefenwirkung unserer Bestrahlung reicht. Erst dann wird man die Prognose für den Einzelfall stellen können oder unter Umständen gar von einer Radikalbestrahlung absehen und zur Palliativbehandlung seine Zuflucht nehmen. Das letztere wird der erfahrene Radiologe allerdings selten tun, da wir die Erfahrung gemacht haben, daß selbst verzweifelte Fälle durch Radiumbestrahlung noch geheilt werden können. Die Erklärung dafür ist darin zu suchen, daß nicht nur die lokale Radium-Element-Konzentration doch etwas größer war als man berechnet hatte oder daß die Strahlenempfindlichkeit des Carcinoms erheblicher angenommen werden muß als man sie zunächst geschätzt hatte.

Die Bestrahlung.

Rein theoretisch kann man, wie oben schon betont, kontinuierlich oder intermittierend oder dis-

kontinuierlich bestrahlen. Prinzipiell soll stets mö
lichste Reizsummation erreicht werden. Die kontinuierlic
Bestrahlung wird beim Portiocarcinom höchstens in d
Frühfällen der Entwicklung möglich sein, wo eine
oder 30 stündige Bestrahlung zur völligen Heilung ausreic
Die intermittierende Bestrahlung, bei der auf 24 stünd
Bestrahlung eine 24 stündige Pause folgt usw., wird im
gemeinen zu eingreifend wirken. Die diskontinuierliche
strahlung, bei der auf 48 stündige Bestrahlung innerh
von drei Tagen (Pause von 24 Stunden dazwischen
schaltet) eine viermal 24 stündige Pause folgt, woran si
in derselben Weise die folgenden Sitzungen anschließe
scheint nach unseren Erfahrungen, vor allem mit B
zug auf die Reizsummation, die richtigste For
der Bestrahlung zu sein. Das Tabellarium auf den Seite
45—51 aber wird in allen Fällen über die Gesamtdaue
der Bestrahlung entscheiden, wenn man nicht vo
zieht, in allen Fällen bis zu der von der Rektumdistanz b
stimmten Maximalbelastung (Tabelle II auf Seite 47) z
gehen.

Tabellen zur Orientierung über die wichtigsten Frage der Bestrahlungstechnik.

1. Die erste Frage, welche wir bei jeder Bestrahlun
entschieden wissen wollen, ist die, welche Gesamt
energie bei einer bestimmten Strahlung in den Körpe
hineingeschickt wird. Es soll daher Tabelle I darüber b
lehren, wieviel $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$ (Milligramm-Stunden-Centimeter) be
Bestrahlungen von 24 bis 250 Stunden unter Verwendun
von Präparaten zu 100, 75, 50, 35 und 15 mg Ra.-Elemen
verabreicht werden. Zahlenwerte, die zwischen de
angegebenen liegen, sind leicht abzuschätzen.

Tabelle I.

Gesamtwert der verabreichten Energie in $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$

mg-Gehalt d. Rad.-Präp.	Dauer der Bestrahlung in Stunden									
	24	36	48	72	96	120	150	180	210	250
100	2400	3600	4800	7200	9600	12000	—	—	—	—
75	1800	2700	3600	5400	7200	9000	11250	13500	—	—
50	1200	1800	2400	3600	4800	6000	7500	9000	10500	12500
35	840	1260	1680	2520	3360	4200	5250	6300	7350	8250
15	360	540	720	1080	1440	1800	2250	2700	3150	3750

Man erkennt aus dieser Tabelle zweierlei: erstens, wie schnell man mit hochwertigen Präparaten an die oberste Grenze der zulässigen Gesamtdosierung kommt (12 000); zweitens: wie unendlich verzögert die Reizwirkung ist, wenn man gar zu schwache Präparate wählt. Es gibt uns daher diese Tabelle zugleich eine Entscheidung darüber, welcher Art die Präparate sein müssen, mit denen wir am zweckmäßigsten arbeiten. Es steht der Gehalt mit 35 mg Ra.-Element an der untersten, ein solcher mit 75 mg an der oberen Grenze; am zweckmäßigsten dürften Präparate mit 50—55 mg Ra.-Element-Gehalt sein (E. Kehrer).

2. Es erhebt sich nun die Frage: Dürfen wir wahllos die Energien verabreichen, wie sie hier in Tabelle I festgestellt worden sind? Ist nur die oberste Grenze der Belastung eines Organismus festgesetzt oder gibt es noch andere Dinge, die man im Auge behalten muß?

Schon im ersten Abschnitt des praktischen Teils wurde festgestellt, daß man bei der Behandlung des Gebärmutter-

krebses mit zentral eingelegtem Radium die Hohlorgane des kleinen Beckens in ganz derselben Weise schonen muß, wie das z. B. mit der Haut in der Röntgentherapie geschieht, weil die Überdosierung an der Rektumschleimhaut sich in der übelsten Weise dadurch bemerkbar macht, daß zusammen mit oft unerträglichen Tenesmen und schleimig-eitrigen Entleerungen Fiebersteigerungen, peritonitische Reizerscheinungen und bisweilen sogar Sepsisfälle beobachtet werden. Der Grund dafür ist wohl darin zu suchen, daß die in ihrer Widerstandskraft geschwächte (geschwürige) Schleimhaut den regelmäßigen Darmbewohnern gegenüber keinen Schutzwall mehr abgibt und dadurch Infektionen zustande kommen können, die sich in dem lockeren periproktalen Gewebe rasch auszubreiten pflegen. In jedem Falle muß also darauf geachtet werden, daß das Rektum keine schwer schädigende Dosis erhält. Maßgebend dafür ist natürlich die Stärke des verwendeten Radiumpräparates, seine Längenausdehnung, die Dauer der Bestrahlung und in allererster Linie der Abstand der vorderen Rektumwand von der Strahlenquelle, weil dieser letzten Endes über die lokale Radium-Element-Konzentration am Orte der gefürchteten Wirksamkeit entscheidet. Blase und Ureter zu beachten ist nicht so wichtig wie gerade das Rektum, weil beide meist weiter vom Cervikalkanal entfernt liegen als der Mastdarm. Handelt es sich aber z. B. um ein Carcinom der hinteren Muttermundslippe, welches zwar das Rektum aber nicht die Blase weit vom Cervikalkanal abgedrängt hat, so muß man diesen Faktor wohl in Betracht ziehen und mit Rücksicht auf die Blase in der Dosierung nicht höher gehen, als es für die entsprechende Rektumdistanz angegeben ist.

Tabelle II.

Maximum der zu verabreichenden Energie in $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$

Rektumdistanz von dem Rad.	Länge der Radium-Präparate			
	20 mm	40 mm	50—60mm	Kombin. Präparat
1,0 cm	2000	2800	3600	3500
1,5 „	4800	5300	5700	5700
2,0 „	6300	8000	9000	9000
2,5 „	9700	12000	12000	12000
3,0 „	(14400)	16000	(16000)	(16000)
3,5 „		20000		
4,0 „		24000		

Diese Tabelle ist, wie man rasch erkennen wird, sehr wertvoll, weil sie zeigt, in welchem Maße die Rektumdistanz die praktische Dosierung beherrscht und wie leicht man es in der Hand hat, durch Streckung der Präparate von 20 auf 40 und mehr Millimeter Länge die erlaubte Gesamtdosis hinaufzuschrauben. Gerade diese aber spielt für den Bestrahlungserfolg, wie kaum betont zu werden braucht, eine bedeutende Rolle (siehe Tabelle IV).

Mit Hilfe von Tabelle I und II kann man für jedes Carcinom des Uterus den Heilplan bereits festlegen. Hat jemand z. B. ein 50 mg Präparat von etwa 55 mm Länge oder ein entsprechendes kombiniertes Instrumentarium zur Verfügung und beträgt die Rektumdistanz in dem zu bestrahlenden Fall 1,5 cm, so darf insgesamt etwa 120 Stunden = 5 Tage bestrahlt werden. Denn wie Tabelle II anzeigt, ist das Maximum der zu verabreichenden Energie

bei 1,5 cm Rektumdistanz und 55 mm Länge des Präparats mit 5700 $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$ gegeben, und das entspricht laut Tabelle I einer 120 stündigen Bestrahlung mit 50 mg Radium.

3. Mit der Kenntnis des Gesamtwertes der verabreichten Energie und des erlaubten Maximums ist die Reihe dessen, was uns wissenswert erscheint, noch nicht erschöpft. Wir wollen auch schon vor Beginn, zum mindesten aber vor Abschluß der Bestrahlung wissen, welcher Behandlungserfolg zu erwarten steht, wie gut oder wie schlecht wir die Prognose zu stellen haben. Darüber kann uns wiederum nur die genaue Kenntnis der Feldstärke unserer Radiumpräparate und die Radiosensibilität des bestrahlten Carcinoms unterrichten. Die erstere lesen wir aus den Isodynamen ab, die letztere muß je nach dem Reifegrad des Krebsgewebes geschätzt werden (siehe Seite 25).

Rascher als Worte werden die drei dem Büchlein beigegebenen Tafeln über die Feldstärke der verschiedenen Radiumpräparate orientieren. Sie sind auf durchscheinendes Papier aufgezeichnet, damit man sie auf Beckenschemata in beliebiger Weise auflegen kann. Dadurch ist eine sofortige Orientierung darüber, bis zu welcher Stelle wirksame Strahlenimpulse gegeben werden, möglich. Die Tafeln enthalten als Grundlage ein Polarkurvensystem und darauf sind die jeweiligen Isodynamen so eingezeichnet, daß das untere (hintere) Ende der Radiumpräparate in der Mitte des Kurvensystems liegt. Dadurch kann man sehr gut auf den Polarstrahlen die jeweiligen Abstände irgendeiner Stelle im kleinen Becken vom äußeren Muttermund ablesen.

Tafel I: Isodynamen eines 40 mm langen Radium-Präparats,

Tafel II: Isodynamen eines 60 mm langen Radium-Präparats,

Tafel III: Isodynamen eines (rund) 60 mm langen Radium-Präparats mit Zusatzpräparaten von 15 mg.

Zahlenwerte sind in den Kurven nicht eingetragen, dieselben sind aus der folgenden Tabelle wiederum für Präparate von 100, 75, 50, 35 und 15 mg Ra.-Element zu entnehmen. Dabei sind die Isodynamen von innen nach außen fortschreitend von I bis VIII nummeriert.

Tabelle III.

Feldstärke der Isodynamen in Tafel I, II und III.

mg-Gehalt der Radiumpräparate Länge derselben		Lokale Ra.-Element-Konzentration in $\frac{mgeh}{cm}$ auf den Isodynamen							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
20 mm lang	100	116	29	12	6,5	4,1	2,8	2,1	1,6
	75	87	23,3	9	5	3,8	3,1	1,6	1,2
	50	58	14,5	6	3,3	2,1	1,4	1,05	0,86
	35	40,6	10,1	4,2	2,3	1,4	0,93	0,73	0,5
	15	17,4	4,4	1,8	0,97	0,6	0,41	0,31	0,2
Zu Tafel I 40 mm lang	100	51,0	18,0	9,0	5,6	3,7	2,7	2,0	1,6
	75	38,25	13,5	7,0	4,2	2,78	2,04	1,5	1,2
	50	25,5	14,5	6,0	2,8	1,85	1,35	1,0	0,8
	35	17,75	6,3	3,2	2,0	1,3	1,0	0,7	0,56
	15	7,6	2,7	1,4	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2
Zu Tafel II und III 50—60 mm lang und kombiniert	100	54,0	20,0	11,6	6,9	4,1	2,9	2,1	1,6
	75	40,5	15,0	7,7	5,1	3,0	2,1	1,5	1,2
	50	27,0	10,0	5,8	3,4	2,05	1,45	1,05	0,8
	35	18,9	7,0	5,8	3,5	2,4	1,0	0,7	0,56
	15	8,1	3,0	1,54	1,0	0,6	0,4	0,3	0,2

Diese Tabelle läßt leicht die Gesamtenergie, welche man bei einer bestimmten Bestrahlungsdauer an einer bestimmten Stelle im kleinen Becken verabreicht hat, übersehen. Würde, um bei dem früher gegebenen Beispiel zu bleiben, mit einem 50 mg Radium-Präparat von 55 mm Länge 120 Stunden bestrahlt (6000 Einheiten Gesamtdosis), so haben alle Gewebsteile im Bereich der fünften Isodyname (siehe Tabelle III) 2,05 mal 120 Milligramm-Element-Impulsstunden = 246 $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$ erhalten. Lag dort eine Carcinomzelle, deren Empfindlichkeit 250 $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$ betrug, so darf man damit rechnen, daß sie zugrunde gegangen ist. Die Tiefenwirkung dieser Bestrahlung betrug also (siehe Tafel II), gemessen vom äußeren Muttermund aus, 5,2 cm, ein Ergebnis mit dem wir in Anbetracht dessen, daß der Halbmesser des knöchernen kleinen Beckens nur 6 bis 6,5 cm beträgt, durchaus zufrieden sein können.

4. Eine letzte Tabelle soll nun noch in einfacher Weise über die Tiefenwirkung, abhängig von der Radiosensibilität der bestrahlten Carcinome orientieren. Ausschlaggebend ist auch hier die Gesamtdosierung, die Stärke des Feldes und die Längenausdehnung des verwendeten Präparates. Um die Tabelle aber nicht zu sehr zu komplizieren und mit Rücksicht darauf, daß in größerer Tiefe die Länge der Präparate für die Intensität der Wirkung eine immer kleinere Rolle spielt, soll hier nur die „mittlere Tiefenwirkung" angegeben werden, die für die Zwecke der Praxis voll ausreicht.

Tabelle IV.

Mittlere Tiefenwirkung in Centimeter, abhängig von der Gesamtdosierung und der Radiosensibilität (gemessen vom äußeren Muttermund aus).

Radiosensibilität in $\frac{\text{mgeh}}{\text{cm}}$	Gesamtdosierung						
	2000	3000	5000	7500	10000	11000	12000
250	2,6	3,2	4,5	5,5	6,5	7,3	7,7
300	2,0	2,5	4,0	4,5	5,5	6,5	6,6
500	1,5	2,0	3,2	4,0	4,5	5,5	5,6
750	1,0	1,5	2,5	3,2	4,0	4,5	4,5
1000	0,7	1,0	2,0	2,5	3,2	3,2	3,4
1500	0,5	0,7	1,5	2,0	2,5	2,8	3,0

Damit sind wir am Ende unserer Betrachtung angelangt, und wenn es mir gelungen ist, in hinreichend klarer Weise die Probleme der Radiumtiefentherapie so zu fördern, daß die jetzt vielfach brachliegenden Radiummengen zum Wohle der Menschheit eine Wiederauferstehung erleben, so ist der Zweck dieser kleinen Broschüre erreicht. Es soll also, wie wohl kaum weiter betont zu werden braucht, das Radium nicht gegenüber dem Röntgenapparat in den Vordergrund geschoben werden, es soll auch keine Entscheidung getroffen sein, ob Röntgen oder Radium, aber es sollen die Mittel und Wege dargetan sein, wie man ein heute fast totes Kapital, das in zahlreichen deutschen Kliniken und Krankenhäusern lagernde Radium, neu nutzbar machen kann zum Kampf gegen den furchtbarsten Feind des Menschengeschlechts: den Krebs.

Anweisung zum Gebrauch der Tafeln.

Die Tafeln — in ½ natürlicher Größe — zeigen du
den Verlauf der Kurven I bis VIII die Isodynamen
ihre jeweilige Stärke muß aus Tabelle III entnommen werd

Hat man ein Radiumröhrchen in den Uterus eingel
so bringt man auf einem in halber Größe gezeichne
Beckenschema die entsprechende Tafel (I, II oder III) so
daß das Radiumröhrchen (schwarzer Balken) genau
zu liegen kommt, wie es in Wirklichkeit im Becken
bestrahlten Frau liegt; man kann dabei einen Sagit
oder einen Frontalschnitt durch das Becken wählen.
die Tafeln durchsichtig sind, so wird man nun leicht
kennen, bis zu welcher Stelle wirksame Strahlen in
Tiefe dringen, und kann mit Hilfe der Isodynamen n
nur den Wert der Reizgröße berechnen, der bei verschiede
Dauer der Bestrahlung an einer bestimmten Stelle
Becken erreicht wird, sondern kann auch mit dem Zir
abmessen, mit welcher Tiefenwirkung voraussichtlich
rechnen sein wird.

Zum Gebrauch sind die Tafeln an der perforier
Seite abzutrennen und Tafel III nach unten umzuklapp

BUCHDRUCKEREI
MAX EMIL FISCHER
DRESDEN

Gicht-, Rheumatismus-, Ischias-

Therapie

mit

Radium

Radiogen-Trinkkuren
mit dem Hausemanator Type T
Abgabe an Patienten leihweise auf ärztliche Verordnung

Lokale Behandlung durch Radiogen-Injektionen und Radiogen-Schlamm

Literatur, Leihbedingungen etc. durch

Allgemeine Radiogen A.-G.
Berlin NW 7, Dorotheenstraße 36

LANE MEDICAL LIBRARY

This book should be returned on or before the date last stamped below.

...Hygiene im Städtebau und in der Wohnung. Lex.-Okt.-Form. VI u. 319 Seiten stark mit 233 Abbild. im Text, zahlreichen Kurven u. Tabellen brosch. M. 25.—, geb. M. 30.—

ZENTRALBLATT FÜR HERZ- U. GEFÄSS-KRANKHEITEN

Unter Mitwirkung von zahlreichen Fachgelehrten herausgegeben von PROF. DR. Ed. STADLER, Planen i. V.

Monatlich erscheinen 2 Hefte :: Preis für das Halbjahr M. 15.—

Bisher sind 12 Bände erschienen.

U859 Lahm, W. 96311
L18 Radium-Tiefentherapie.
1921

NAME | DATE DUE